



WEGMANN Q78854
METHOD OF PRODUCING AN
OPTICAL IMAGING SYSTEM
Filed: December 10, 2003
SUGHRUE, MION 202-293-7060
1 of 1

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 58 715.9
Anmeldetag: 10. Dezember 2002
Anmelder/Inhaber: Carl Zeiss SMT AG,
Oberkochen/DE
Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung eines optischen
Abbildungssystems
IPC: G 03 F, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wenner

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Anmelderin:

Carl Zeiss SMT AG

Carl-Zeiss-Str. 22

73447 Oberkochen

Unser Zeichen: A 35340

10. Dezember 2002 Mu/rc

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung eines optischen Abbildungssystems

- Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Abbildungssystems, insbesondere eines mikrolithographischen Projektionsobjektivs, welches eine Vielzahl optischer Elemente aufweist, sowie ein mit Hilfe des Verfahrens hergestelltes optisches Abbildungssystem.
- 5
- 10 Bei optischen Abbildungssystemen, die eine Vielzahl optischer Elemente aufweisen, ergeben sich die Gesamt-Abbildungsfehler als Summe der Fehler der einzelnen zur Abbildung beitragenden optischen Elemente. Da Fehlertoleranzen für Einzelkomponenten nicht beliebig reduziert werden können, ist in der Regel eine Feinjustage des Gesamtsystems
- 15 erforderlich, um die Gesamtfehler des Systems zu minimieren. Ein solcher Justageprozess ist beispielsweise bei Hochleistungs-Projektionsobjektiven für die Mikrolithographie sehr aufwendig. Derartige Projektionsobjektive, die nicht selten mehr als zehn oder zwanzig optische Elemente umfassen, werden bekanntlich in Projektionsbelichtungsanlagen
- 20 zur Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen fein strukturierten Bauteilen verwendet und dienen dazu, Muster von Photomasken oder Strichplatten (Masken, Retikel) auf einen mit einer lichtempfindli-

chen Schicht beschichteten Gegenstand mit höchster Auflösung in verkleinerndem Maßstab zu projizieren. Ohne eine aufwendige Justage sind die erforderlichen Abbildungsleistungen mit Auflösungen im Submikrometerbereich bei diesen komplexen Systemen nicht zu erreichen.

5

Ein Feinjustageprozess umfasst in der Regel mehrere unterschiedliche Manipulationen an Linsen oder anderen optischen Elementen. Hierzu gehören laterale Verschiebungen der Elemente senkrecht zur optischen Achse (hier als Zentrierung bezeichnet), Verschiebungen von Elementen entlang der optischen Achse zur Änderungen von Luftabständen (hier als Abstimmung bezeichnet) und/oder Drehungen von Elementen um die optische Achse (hier als Kompensation bezeichnet). Eventuell können auch Kippungen einzelner Elemente vorgesehen sein. Der Justagevorgang wird unter Kontrolle einer geeigneten Aberrations-
15 Vermessung des Abbildungssystems durchgeführt, um die Auswirkungen der Manipulationen überprüfen und Anweisungen für weitere Justageschritte ableiten zu können.

Selbst nach einer aufwendigen Justage können Restfehler verbleiben, die sich entweder nur mit erheblich vergrößertem Justageaufwand oder überhaupt nicht durch Justage beseitigen lassen. Übersteigen die Fehler die für das optische System vorgegebenen Spezifikationen, sind weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Abbildungsleistung erforderlich. Eine Maßnahme ist die Einführung sogenannter „Korrekturasphären“ in das optische Abbildungssystem. Hierdurch können gegebenenfalls vorhandene Restfehler weiter minimiert werden. Eine „Korrekturasphäre“ im Sinne dieser Anmeldung ist eine asphärisch gekrümmte Fläche einer Linse oder eines Spiegels, deren Oberflächenform gezielt dazu dient, Fertigungsfehler eines optischen Systems teilweise oder vollständig zu kompensieren. In diesem Sinne sind Korrekturasphären von sogenannten „Designasphären“ zu unterscheiden, deren Oberflächenform im Rahmen des ursprünglichen optischen Designs festgelegt wird. Übli-
20
25
30

cherweise werden Korrekturasphären mit einer Deformation zwischen ca. 10nm und ca. 1µm eingesetzt, die auch als Nanoasphären oder Nanometer-Asphären bezeichnet werden. Der Einsatz solcher Asphären für Korrekturzwecke in beugungsbegrenzten Hochleistungsoptiken ist beispielsweise in dem Artikel „Nanometer-Asphären: Wie herstellen und wofür?“ von C.Hofman, A. Leitel, K. Merkel, B. Retschke, Feinwerktechnik & Messtechnik 99 (1991) 10, Seiten 437 bis 440 beschrieben.

In dem Patent US 6,268,903 B1 (entsprechend EP 724 199 B1) wird ein Justageverfahren für ein optisches Abbildungsverfahren beschrieben, für das auf Grundlage einer Verzeichnungsmessung ein Korrekturelement gefertigt wird. Dazu wird an einer vorbestimmten Stelle im Abbildungssystem ein Korrekturelement vorgesehen, welches Teil des Projektionsobjektives ist. Nach einer Messung der Verzeichnung des Systems wird die Topographie der Oberfläche des Korrekturelementes berechnet, die erforderlich ist, um die entsprechende Verzeichnungskomponente zu beseitigen. Dann wird das Korrekturelement aus dem Projektionssystem herausgenommen und die Korrekturfläche bearbeitet. Anschließend wird das Korrekturelement wieder eingefügt. Das Projektionssystem hat einen Objektivteil vor seiner Blendenebene und einen Objektivteil nach dieser Blendenebene. Es sind Einbaupositionen angestrebt, die möglichst weit entfernt von der Blendenebene weg bzw. sehr nahe am Objekt bzw. Bild liegen. Damit soll erreicht werden, dass die Spotgröße der Strahlenbündel auf der Korrekturfläche sehr klein und damit der Einfluss auf andere Aberrationen gering ist. Die feldnahen Einbaupositionen sollen auch den Aus- und Einbau des Korrekturelementes vereinfachen. Als Messmethode für die Verzeichnung wird eine indirekte Methode verwendet, bei der ein Test-Retikel auf einen mit Photolack beschichteten Wafer abgebildet, der belichtete Wafer anschließend entwickelt und das abgebildete Muster mit Hilfe einer Koordinatenmessmaschine vermessen wird.

Das Patent US 5,392,119 (vgl. auch WO 96/07075) beschreibt ein Verfahren zur Korrektur von Aberrationen eines optischen Abbildungssystems, bei dem am Abbildungssystem mindestens ein Abbildungsfehler gemessen wird, beispielsweise Verzeichnung, Bildfeldkrümmung, sphärische Aberration, Koma oder Astigmatismus. Auf Grundlage der Messungen werden individuell für das Abbildungssystem angepasste Korrektorplatten gefertigt, deren Korrekturflächen dazu dienen, die gemessenen Abbildungsfehler zu minimieren. Auf diese Weise kann einem Abbildungssystem eine „Brille“ nachträglich angemessen werden.

5

10 Dadurch kann die Abbildungsleistung existierender Abbildungssysteme verbessert werden. Bei einem Ausführungsbeispiel sind zwei Korrektorplatten außerhalb des Projektionsobjektives zwischen Objektebene und Objektiv und eine Platte im Bereich der Blendenebene angeordnet. Als Messtechnik zur Bestimmung der Abbildungsfehler wird eine Variante

15 des Hartmann-Verfahrens verwendet. Dabei werden die vom Abbildungssystem erzeugten Wellenfrontfehler umgesetzt in laterale Abweichungen der tatsächlichen Bildpunkte von den Positionen idealer Bildpunkte, die mit einem fehlerfreien Abbildungssystem erzielbar wären. Wird die Vermessung für eine Vielzahl von Feldpunkten durchgeführt, so

20 kann aus dem Feld der resultierenden Abweichungsvektoren auf Grundlage eines Modells die Deformation der Wellenfront in der Pupille des Abbildungssystems rekonstruiert werden. Eine Beschreibung einer entsprechenden Messtechnik findet sich beispielsweise im Patent US 5,828,455.

25

Die EP 1 022 617 beschreibt ein Mikrolithographie-Projektionsobjektiv, bei dem als letztes optisches Element vor der Bildebene eine Korrektorplatte konstanter Dicke vorgesehen ist, deren beide Oberflächen identische asphärische Form haben. Die Form der Asphären wurde auf Basis

30 einer Verzeichnungsmessung des Objektivs bestimmt.

Die japanische Patentanmeldung JP 10-154657 beschreibt einen Herstellungsprozess für ein Mikrolithographie-Projektionsobjektiv, bei dem die Linsen des Objektivs zur Minimierung von Aberrationen gegeneinander axial verschoben, dezentriert und/oder verkippt werden
5 und bei dem an einer optischen Fläche eine Korrekturasphäre zur Korrektur von Aberrationen höherer Ordnung erzeugt wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Abbildungssystems bereitzustellen, welches es ermög-
10 licht, mit vertretbarem Aufwand komplex aufgebaute optische Abbildungssysteme mit hervorragendem Korrektionszustand zu schaffen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen An-
15 sprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird das Abbildungssystem zunächst mit weitgehend lagerichtiger Anordnung der optischen Elemente
20 zusammengebaut. Dabei kann jedes optische Element eine gesonderte Fassung haben. In der Regel folgt auf den Zusammenbau ein Justageprozess, um die Abbildungsleistung des Abbildungssystems zu optimieren. Dabei können in der eingangs erwähnten Weise einzelne Linsen oder andere optische Elemente axial und/oder quer zur optischen Achse
25 verlagert, gekippt und/oder verdreht werden. Eine Vermessung des Abbildungssystems zur ortsauflösenden Bestimmung der Wellenfront in der Austrittspupille oder einer dazu konjugierten Fläche des Abbildungssystems wird zur ortsauflösenden Bestimmung von Wellenfrontfehlern genutzt. Es wird an mindestens einem der optischen Elemente eine als
30 Korrekturfläche vorgesehene Fläche ausgewählt. Diese mindestens eine Korrekturfläche ist so zu wählen, dass sie im Bereich der Austrittspupille oder einer dazu konjugierten Fläche des Abbildungssystems angeordnet

ist. Die Korrekturfläche sollte also in der Austrittspupille (oder einer hierzu konjugierten Fläche) oder in der Nähe dieser Fläche liegen. Das mindestens eine optische Element, an dem die mindestens eine Korrekturfläche ausgebildet ist, ist dabei ein zum ursprünglichen Aufbau des Abbildungssystems gehörendes Element. Auf Grundlage der erwähnten Vermessung von Wellenfrontfehlern wird eine Topographie bzw. eine Form einer Korrekturfläche und/oder eine Brechzahlverteilung an der Korrekturfläche errechnet, die erforderlich ist, um die bei der Messung ermittelten Wellenfrontfehler zu verkleinern, d.h. teilweise oder weitgehend vollständig zu kompensieren. Die Berechnung kann z.B. durch Raytracing oder anhand von Sensitivitätstabellen erfolgen. Ist die Vermessung abgeschlossen, so kann das optische Element, welches die Korrekturfläche aufweist, aus dem Abbildungssystem ausgebaut werden. Hierzu kann dieses an geeigneter Stelle aufgetrennt werden. Nach dem Ausbau erfolgt eine ortsauflösende Bearbeitung der Korrekturfläche zur Erzeugung der Topographie und/oder der Brechzahlverteilung, wobei eine Formkorrektur und/oder eine lokale Brechzahländerung koordinatenrichtig entsprechend der Ergebnisse der Topographieberechnung durchzuführen ist. Ist die Formgebung der Korrekturfläche und/oder die Änderung der Brechzahlverteilung beendet, so wird das optische Element, welches die fertig bearbeitete Korrekturfläche enthält, lagerichtig an seiner Position im Abbildungssystem wieder eingebaut. Die Korrekturfläche befindet sich dann wieder im Bereich der Austrittspupille bzw. einer hierzu konjugierten Fläche und kann hier ihre Wirkung entfalten.

25

Ein Aspekt der Erfindung zielt somit im wesentlichen darauf, durch Korrektur der optischen Wirkung an einer oder mehrerer Flächen eines Objektivs den Pupillenfehler zu minimieren. Bekanntlich laufen alle Wellenfronten einer Abbildung unabhängig von deren Ausgangspunkt im Objektfeld durch die Pupille eines Objektivs. Dies bedeutet einerseits, dass sich Linsenfehler in Pupillennähe in vergleichbarer Weise allen Wellenfronten aufprägen. Sie hinterlassen somit ihren Fingerabdruck auf allen

30

Wellenfront und schaden damit - von zufälligen lokalen Kompensationen abgesehen - der Abbildung an jedem Feldpunkt in vergleichbarer Weise. Die Erfindung nutzt diesen Umstand, indem der Pupillenbereich bzw. ein dazu optisch konjugierter Bereich als Ort für eine Korrektur gewählt wird.

5

Die Möglichkeit einer nachträglichen Wellenfrontkorrektur in Pupillennähe kann zu einer erheblichen Vereinfachung und Abkürzung des Justageprozesses genutzt werden. Allgemein gilt, dass Bildfehlertypen mit zwei Symmetrieachsen, wie beispielsweise anamorphotische Verzeichnung (Anamorphismus) und Astigmatismus in der Achse (Achsastigmatismus, AIDA) auf nicht-rotationssymmetrische Linsenfehler zurückgehen, beispielsweise auf Sattelpassen oder auf eine Verbiegung der brechenden Flächen durch äußere Kräfte. Dies gilt auch für Fehlertypen mit mehreren Symmetrieachsen. Im Abbildungssystem lassen sich solche Fehler durch Drehung einzelner Linsen um ihre optischen Achsen nur dann kompensieren, wenn sich geeignete „Partner“ mit entsprechenden Wirkungen finden lassen, die zur Kompensation genutzt werden können. Eine solche Partnersuche ist sehr zeitaufwendig und nicht immer erfolgreich. Auswirkungen solcher Linsenfehler hängen von der Art des Fehlers und vom Ort der den Fehler verursachenden Flächen im System ab. Allgemein wirken sich nicht-rotationssymmetrische Linsenfehler in der Nähe einer Feldebene, z.B. in Objekt- oder Bildnähe, stärker auf die Verzeichnung aus, während sie sich dann, wenn sich die fehlerhaften Flächen in Pupillennähe befinden, allen Wellenfronten aufprägen (beispielsweise AIDA, Drei-Blattfehler oder dergleichen). Bei Anordnung in den dazwischenliegenden Räumen liegen die genannten Fehlertypen mit unterschiedlichen Gewichtungen vor. Diese Umstände lassen die gemeinsame Kompensation beider Fehlertypen sehr komplex werden. In der Regel sind Fehler mit mehr als zwei Symmetrieachsen nicht vollständig kompensierbar. Die Kompensation von anamorphotischer Verzeichnung bzw. Anamorphismus und AIDA ist in der Regel der weitaus zeitaufwendigste Teil eines Justageprozesses. Auch rotationssymmetri-

30

sche Fehler höherer Ordnung sind nicht oder nicht ausreichend durch Justage zu beseitigen und können erfindungsgemäß korrigiert werden. Auch Linearkombinationen von Aberrationen sind korrigierbar.

- 5 Bei Nutzung einer Korrektur in Pupillennähe kann darauf verzichtet werden, gleichzeitig den Anamorphismus und den Achsastigmatismus zu kompensieren. Vielmehr kann sich der Justageprozess auf die Kompensation des Anamorphismus beschränken. Damit kann in vielen Fällen mehr als die Hälfte des erforderlichen Justageaufwandes entfallen, so
- 10 dass eine wesentliche Vereinfachung der Justage mit erheblicher Verkürzung der Justagezeiten erzielbar ist. Gleichzeitig ergibt sich durch die nachträgliche Korrektur einer oder mehrerer pupillennaher Flächen eine deutliche Verbesserung der Abbildungsleistung. Korrekturen im pupillennahen Bereich führen außerdem dazu, dass die Abbildungsleistung
- 15 bei unterschiedlichen Beleuchtungssettings nicht oder nur gering variiert. Eine nachträgliche Korrektur im Bereich einer Pupillenfläche des Objektivs kann auch dazu beitragen, die Toleranzen für pupillennah einzusetzende Optikkomponenten zu entspannen, so dass hier gegebenenfalls kostengünstigere Qualitäten einsetzbar sind.

20

- Als pupillennahe Bereiche sollen hier insbesondere solche axialen Abschnitte eines Abbildungssystems verstanden werden, bei denen die Randstrahlhöhen, d.h. die Strahlhöhen von Randstrahlen der optischen Abbildungen, in der Nähe des Radius der Öffnung der Systemblende
- 25 liegen. Günstig sind beispielsweise Bereiche, in denen ein Verhältnis zwischen der Randstrahlhöhe und dem Radius der Systemapertur zwischen ca. 0,8 und ca. 1,0 liegt.

- Für die Vermessung des Abbildungssystems zur ortsauflösenden Bestimmung von Wellenfrontfehlern kann jede geeignete Methode benutzt
- 30 werden, insbesondere geeignete interferometrische Verfahren, die eine unmittelbare Bestimmung von Lichtwegabweichungen über die Aus-

trittspupille zulassen. Beispielsweise können Twyman-Green-Verfahren oder Verfahren mit Fizeau-Aufbau oder Mach-Zehnder-Aufbau genutzt werden. Bevorzugt sind Verfahren, die eine unmittelbare Vermessung der Wellenfrontaberration in der Austrittspupille für viele Feldpunkte gleichzeitig ermöglichen. Ein solches Verfahren, welches nach dem Prinzip der Shearing-Interferometrie arbeitet, ist in der Deutschen Patentanmeldung DE 101 29 929 A1 beschrieben, deren diesbezüglicher Offenbarungsgehalt durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht wird. Es können auch viele Feldpunkte nacheinander vermessen werden.

Bei der Korrekturfläche kann es sich um eine im wesentlichen ebene Fläche, beispielsweise an einer transparenten Platte, oder um eine schwach oder stark gekrümmte Fläche einer Linse oder eines Spiegels handeln. Als plattenförmiges Element kommt beispielsweise eine pupil-
lennah angeordnete Platte einer Alignment-Systems in Frage (vgl. z.B. EP 393 775, Fig. 4 bis 6).

Im Rahmen der Erfindung sind unterschiedliche Optimierungsziele bei der Berechnung der Topographie und/oder der Brechzahlverteilung der Korrekturfläche möglich. Bei einer Ausführungsform wird zunächst für eine Vielzahl von Feldpunkten der Wellenfrontfehler bestimmt. Danach erfolgt eine koordinatenrichtige Mittlung der Wellenfrontfehler zur Bestimmung eines mittleren Wellenfrontfehlers für eine pupillennahe Fläche. Eine Mittlung kann über die Beiträge der Einzelwellenfronten vieler Feldpunkte und/oder über einzelne Wellenfronten in sich durchgeführt werden. Die Berechnung der Topographie und/oder der Brechzahlverteilung erfolgt dann so, dass durch die Form der Korrekturfläche und/oder deren Brechzahlverteilung dieser mittlere Wellenfrontfehler teilweise oder vollständig kompensiert wird. Hierdurch kann insbesondere eine Verbesserung der Abbildungsleistung durch Korrektur des mittleren Pupillenfehlers, insbesondere Achsastigmatismus (AIDA), Dreiwelligkeit,

Vierwelligkeit, sphärische Aberration (auch höherer Ordnung) erzielt werden. Dabei kann die Bestimmung eines ungewichteten Mittelwertes ausreichen, wobei beispielsweise als mittlerer Pupillenfehler das arithmetische Mittel über alle Wellenfronten aus dem vermessenen Feld gesetzt werden kann. Abhängig vom Optimierungsziel kann beispielsweise auch ein gewichteter Mittelwert ermittelt werden. Ist eine Spezifikation für ein Abbildungssystem so ausgelegt, dass für einen bestimmten Bildfehler ein maximaler Wert nicht überschritten werden darf, so kann die Korrektur auch so angelegt sein, dass der schlechteste Wert des Wellenfrontfehlers über das Feld diesen Grenzwert nicht übersteigt.

Bei der Wahl der Optimierungsziele kann unterschieden werden zwischen Anforderungen an die Feldverteilung von Kriterien und den Kriterien an die Einzelwellenfront selbst. Zunächst ist die zu optimierende Größe der Einzelwellenfront (Wellenfront an einem einzigen Feldpunkt) zu benennen. Diese hängt i.d.R. von der Anwendung des Objektivs ab und ergibt sich aus den Objektivspezifikationen. Normalerweise sind mehrere Bedingungen zu erfüllen, auch Kombinationen von Einzelbedingungen.

Spezifikationen bzw. Kenngrößen können aus der Wellenfront abgeleitete Größen sein, z.B.: „Maximal zulässiger RMS-Wert“ (entspricht dem Kontrast, RMS = root mean square, d.h. die Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung, der Idealwert ist hier Null). Weitere Kenngrößen sind z.B. einzelne Zernike-Koeffizienten oder Linearkombinationen von Zernike-Koeffizienten (z.B. rotationssymmetrische und -unsymmetrische). Beispielsweise gibt es für die lithografie-relevante Größe „iso focal-tilt“ die Linearkombination der sphärischen Aberrationen = Betrag Z9 + Betrag Z16 + Betrag Z25. Es können Restwellenfrontfehler nach Filterung von Ortsfrequenzen sein (z.B. nach Abzug niedriger Ordnungen oder anderweitig korrigierbaren Größen). Es kann auch

die Wellenfront selbst, also orts aufgelöst (pixelweise), als Rohdaten oder nach lokaler Filterung, weiterverarbeitet werden.

Anhand dieser Kenngrößen können nun Optimierungsziele für die Verläufe im Feld generiert werden; beispielsweise arithmetisches Mittel (einer der oben genannten Größen), gewichtetes Mittel, quadratisches Mittel, schlechtester Feldpunkt, Linearkombination der Kriterien, Mischung aus pixelweise berechneten und aus abgeleiteten Kenngrößen. Bei Lithografieoptiken kommen die Kriterien i.d.R. aus dem Lithografieprozess selbst, und da sich sowohl der Prozess als auch das Verständnis der Wirkungsweise von Aberrationen auf den Prozess ständig weiterentwickeln, ändern sich auch die Kriterien.

Die optischen Flächen der optischen Elemente der hier behandelten Abbildungssysteme sind in der Regel mit Antireflexschichten (bei Linsen oder Prismen) oder mit Reflexschichten (bei Spiegeln) beschichtet, um eine optimale Abbildungsleistung des Gesamtsystems zu erzielen. Bei einer Weiterbildung des Verfahrens bleibt zumindest die als Korrekturfläche vorgesehene Fläche unbeschichtet und wird im unbeschichteten Zustand eingebaut. Dementsprechend wird das optische Abbildungssystem auch mit mindestens einer unbeschichteten Fläche vermessen. Eine vorzugsweise vorgesehene Beschichtung der fertigen Korrekturfläche wird dann nach der ortsauflösenden Bearbeitung vorgenommen. Bei dieser Variante ist es günstig, wenn die Wirkung der für die Korrekturfläche vorgesehenen Beschichtung, beispielsweise einer Antireflexbeschichtung, bei der Berechnung des Wellenfrontfehlers und der anschließenden Berechnung der Topographie und/oder der Brechzahlverteilung der Korrekturfläche durch einen entsprechenden Vorhalt berücksichtigt wird. Dies ist zumindest näherungsweise möglich, da die Wirkung der für die Korrekturfläche vorgesehenen Beschichtung insbesondere auf die Phase der durchtretenden Wellenfronten aus dem Schichtdesign näherungsweise ableitbar ist und in die Modellrechnung der Lin-

senanordnung einbezogen werden kann. Die Beschichtung kann ggf. selbst als korrigierendes Mittel genutzt werden.

Obwohl es möglich ist, das mindestens eine für die Anbringung der Korrekturfläche vorgesehene optische Element für die Bearbeitung aus seiner Fassung zu lösen, ist bei einer bevorzugten Weiterbildung vorgesehen, zumindest dieses Element in einer gesonderten Fassung zu montieren und mit der Fassung auszubauen. Auch die anschließende Oberflächenbearbeitung zur Erzeugung der Korrekturfläche und/oder zur Veränderung der Brechzahlverteilung und/oder eine nachfolgende Beschichtung der fertiggestellten Korrekturfläche kann erfolgen, ohne dass das optische Element aus seiner Fassung entfernt werden muss. Das auf diese Weise optimierte optische Element kann dann mit seiner Fassung wieder an der entsprechenden Einbauposition im Abbildungssystem eingebaut und befestigt werden. Mit dieser Verfahrensvariante können somit einige Arbeitsschritte, nämlich das Herauslösen eines optischen Elementes aus seiner Fassung und das nachfolgende, möglichst lagerrichtige Einfügen in die Fassung, eingespart werden. Auch die mit solchen Arbeitsschritten verbundenen Fehler werden dadurch vermieden, wodurch insbesondere eine koordinatenrichtige Einfügung der optimierten Korrekturtopographie erleichtert wird.

Die ortsauflösende Bearbeitung der Korrekturfläche kann einen koordinatenrichtigen Materialabtrag, beispielsweise mit Ionenstrahlätzen, und/oder eine lagerrichtige Materialauftragung, beispielsweise mittels Beschichtung umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann eine lokale Brechzahländerung der Korrekturfläche, z.B. durch Dotierung mit Fremdatomen, vorgesehen sein, um die räumliche Brechzahlverteilung an der Korrekturfläche zu verändern. Zweckmäßig wird eine computer-numerische Steuerung verwendet, bei der der Materialabtrag und/oder der Materialauftrag und/oder die lokale Brechzahländerung zielgenau

auf Basis der ortsauflösenden Messung der Wellenfrontfehler erfolgen kann.

Bei der Verfahrensvariante mit der Beschichtung des gefassten optischen Elementes werden Beschichtungstechniken bevorzugt, die bei moderaten Temperaturen arbeiten, um temperaturbedingte Veränderungen der Fassungsgeometrie und/oder temperaturbedingte Ablösung einer beispielsweise geklebten Linse aus ihrer Fassung zu vermeiden. Falls erforderlich, können Klebeschichten durch eine Kühlung der Fassung vor Erwärmung geschützt werden.

Die Erfindung betrifft auch ein optisches Abbildungssystem, insbesondere ein mikrolithographisches Projektionsobjektiv, welches mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt oder herstellbar ist. Ein solches System zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass an mindestens einer pupillennahen Fläche eines optischen Elementes, beispielsweise an einer Eintrittsfläche oder einer Austrittsfläche einer pupillennahen Linse, eine normalerweise asphärische Korrekturfläche vorgesehen ist, deren Form und/oder Brechzahlverteilung signifikant von der Oberflächenform und/oder Brechzahlverteilung der entsprechenden Grenzfläche im zugrundeliegenden optischen Design abweicht. Der Betrag der Abweichung von der als Referenzform anzusehenden Form gemäß optischem Design kann lokal beispielsweise in der Größenordnung zwischen ca. 10 nm und ca. 1 μ m liegen.

Die vorstehenden und weiteren Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können. Ein Ausführungsbei-

spiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im Folgenden näher erläutert.

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Mikrolithographie-Projektionsobjektivs; und

Fig. 2 ist ein Diagramm, welches das Ergebnis einer orts aufgelösten, direkten Wellenfrontmessung bei einer Ausführung der Erfindung zeigt.

Anhand Fig. 1 wird eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Herstellungsprozesses gezeigt, mit dem ein optisches Abbildungssystem in Form eines Projektionsobjektivs 10 für die Mikrolithographie hergestellt wird. Es handelt sich dabei um ein rotationssymmetrisches, rein refraktives Reduktionsobjektiv mit einem Verkleinerungsfaktor von 4:1, welches für eine Arbeitswellenlänge im tiefen Ultraviolettbereich, beispielsweise für 157nm, 193nm oder 248nm, ausgelegt ist. Das Projektionsobjektiv umfasst eine Vielzahl von beispielsweise zwischen fünfzehn und dreißig Linsen, von denen nur einige Linsen 11 bis 15 beispielhaft gezeigt sind. Jede der Linsen ist in einer gesonderten Fassung 16 bis 20 einzeln montiert und beispielsweise durch Kleben im Randbereich der Linse fest mit dem zugehörigen Fassungelement verbunden. Die Fassungelemente sind teilweise direkt übereinander angeordnet und miteinander verbunden. Zwischen einzelnen oder allen Fassungelementen können auch gesonderte Abstandhalterringe 21 eingefügt sein, die einer genauen Einstellung der axialen Linsenabstände (Luftabstände) dienen. Wenn beim Zusammenbau des Projektionsobjektivs die Fassungen miteinander beispielsweise durch Verschraubung verbunden sind, sind die Linsen des Systems bereits weitgehend mit den richtigen zwischenliegenden Luftabständen entlang der optischen Achse 25 des Abbildungssystems zentriert.

Das Projektionsobjektiv 10 ist dazu ausgelegt, ein in seiner Objektebene 26 angeordnetes Muster einer Maske bzw. eine Retikels ohne Zwischenbild in die Bildebene 27 in verkleinerndem Maßstab abzubilden.

- 5 Zwischen der Objektebene und der Bildebene liegt die einzige Pupillenebene 28 des Systems, welche einer Fourier-transformierten Ebene zu Objekt- und Bildebene ist. Bei anderen Projektionsobjektiven, beispielsweise bei katadioptrischen Projektionsobjektiven mit geometrischer oder physikalischer Strahlteilung und mindestens einem Konkavspiegel, kann
- 10 bei der Abbildung mindestens ein reelles Zwischenbild erzeugt werden. In diesem Fall gibt es mehrere Pupillenebenen, die jeweils zwischen den Feldebene (Objektebene, Zwischenbildebene, Bildebene) liegen und zueinander optisch konjugiert sind. Die Bereiche der Pupillenebenen sind bevorzugte Orte zur Anbringung einer Systemblende zur Begren-
- 15 zung des Strahldurchmessers und zur wahlweisen Einstellung der für die jeweilige Abbildung genutzten numerischen Apertur.

- Bei dem Projektionsobjektiv 10 sind mit einer Ausnahme alle Eintrittsflächen und Austrittsflächen der Linsen mit Antireflexbeschichtungen versehen, um Lichtverluste im System zu minimieren und eine ausreichende Transmission des Gesamtsystems zu gewährleisten. Bei der pupillennächsten Linse 14, die in Lichtlaufrichtung unmittelbar hinter der Pupillenebene 28 sitzt, ist nur die der Pupillenebene abgewandte Austritts-
- 20 seite mit einer Antireflexbeschichtung 30 versehen. Die in unmittelbarer Nähe der Pupillenebene liegende Eintrittsfläche 35 ist dagegen unbeschichtet. Sie ist als Korrekturfläche des Systems vorgesehen.
- 25

- Alle Eintrittsflächen und Austrittsflächen der Linsen sind gemäß dem ursprünglichen Design des Projektionsobjektivs geformt. Im Beispielsfall
- 30 ist die Eintrittsfläche 35 der pupillennächsten Linse 13 sphärisch gekrümmt, es kann sich jedoch auch um eine asphärische Fläche handeln, die in diesem Fall als Designasphäre bezeichnet wird, da die Asphäri-

tät im Rahmen des optischen Designs vorgesehen ist, um zur Korrektur bestimmter Bildfehler des Systems beizutragen. Die pupillenächste Fläche kann auch im wesentlichen eben sein.

- 5 Das zusammengebaute Projektionsobjektiv 10 ist in eine interferometrische Messvorrichtung 40 zur Erfassung von Wellenfronten eingebaut. Die Messvorrichtung nutzt das Licht eines Beleuchtungssystems 48 und umfasst eine an der Objektseite des Projektionsobjektivs angeordnete Wellenfrontquelle 41 zur Erzeugung von durch das Objektiv laufenden
- 10 Wellenfronten, ein in der Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnetes Beugungsgitter 42 und einen dem Beugungsgitter nachgeordneten ortsauflösenden Detektor 43, der an eine Auswerteeinheit 45 angeschlossen ist. Bei der Ausführungsform umfasst die Wellenfrontquelle 41 eine in der Objektebene 26 angeordnete Lochmaske 44 mit einer Viel-
- 15 zahl von periodisch angeordneten Öffnungen, deren minimale Durchmesser jeweils deutlich größer als die verwendete Arbeitswellenlänge (z.B. 193nm oder 248nm) ist. Dadurch hat die Wellenfrontquelle eine zweidimensionale Struktur, die dazu genutzt werden kann, die räumliche Kohärenz der Strahlung so anzupassen, dass eine hochgenaue Wellen-
- 20 frontmessung möglich ist. Nachdem die aus der Lochmaske 44 austretende Wellenfront, die sich aus einer Vielzahl von Kugelwellen zusammensetzt, durch das Abbildungssystem 10 gelaufen ist, trifft sie auf das Beugungsgitter 42, welches so ausgelegt ist, dass nur die nullte Beugungsordnung und die ersten Beugungsordnungen zur Interferenz ge-
- 25 langen und zu der vom Detektor 43 aufgenommenen Intensitätsverteilung beitragen. Bei diesem Shearing-Interferometer werden dadurch verschiedene Orte der Austrittspupille 28 des Abbildungssystems interferometrisch miteinander verglichen. Aus diesem Vergleich lassen sich Wellenaberrationen als Funktion des Ortes der Austrittspupille ableiten.
- 30 Dabei misst das Interferometer orts aufgelöst die Form der Wellenfront unmittelbar anhand der Phasen der Wellen in der Austrittspupille. Aus

der Wellenfront können dann Aberrationen, d.h. Abweichungen von einer perfekten Kugelwelle bestimmt werden.

Um Aussagen über den Verlauf eventueller Aberrationen im Bildfeld zu erhalten, ist die Messvorrichtung mehrkanalig ausgelegt, so dass an vielen Feldpunkten gleichzeitig gemessen werden kann. Bei einer mehrkanaligen Messung können beispielsweise zwischen ca. zehn und ca. tausend Kanäle entsprechend der Zahl der Löcher in der Lochmaske simultan genutzt werden. Details zu dem bei dieser Ausführungsform genutzten Messverfahren und der entsprechenden Messvorrichtung können der DE 101 09 929 entnommen werden, deren Offenbarungsgehalt durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht wird.

In Fig. 2 ist beispielhaft eine quasi dreidimensionale Darstellung des Ergebnisses einer orts aufgelösten Wellenfrontmessung mit Hilfe des genannten Shearing-Interferometers gezeigt. In der x-y-Ebene sind Ortskoordinaten der Austrittspupille 28 des Projektionsobjektivs angegeben, in der parallel zur optischen Achse verlaufenden z-Richtung sind die Wellenfrontaberrationen in willkürlichen Längeneinheiten aufgetragen. Eine Analyse der Wellenfront WF ergibt, dass als dominierende Bildfehler Astigmatismus, Koma, sphärische Aberration und Vierwelligkeit zur Deformation der Wellenfront beitragen.

Bei der Herstellung des fertigen, korrigierten Projektionsobjektivs kann beispielsweise wie folgt vorgegangen werden. Zunächst wird, wie beschrieben, das Objektiv aus den einzeln gefassten Linsen zusammengesetzt, wobei ein pupillennahes Element 14 auf der zur Korrektur vorgesehenen Korrekturfläche 35 zunächst unbeschichtet bleibt. Die übrigen Linsenflächen sind antireflexbeschichtet. Das Objektiv wird dann in die Messvorrichtung 40 eingebaut, mit der der Justagevorgang überwacht wird. Bei der Justage wird das Objektiv 10 zunächst in konventioneller Weise abgestimmt, wobei beispielsweise der Anamorphismus

durch Verdrehung von Linsen beseitigt oder zumindest minimiert wird. Bei dieser Justage wird allerdings auf die Kompensation des Achsastigmatismus (AIDA) kein besonderes Gewicht gelegt. Dadurch kann der Zeitaufwand bei der Justage im Vergleich zu herkömmlichem Vorgehen
5 deutlich reduziert werden. Das Interferometer 40 wird dazu genutzt, die Effekte der Justageeingriffe auf die Wellenfront zu beobachten.

Ist die Justage abgeschlossen, erfolgt eine interferometrische Komplettmessung des Objektivs 10 an vielen Feldpunkten. Anschließend
10 wird in der Auswerteinheit 45 eine koordinatenrichtige Mittelung der Wellenfronten durchgeführt, die z.B. in der oben beschriebenen Weise einen mittleren Pupillenfehler ergibt.

Auf Grundlage des mittleren Pupillenfehlers wird eine Berechnung der
15 Topographie der Korrekturfläche 35 vorgenommen. Ziel dieser Berechnung ist die Ermittlung derjenigen Oberflächenform der Korrekturfläche 35, die notwendig ist, um den ermittelten mittleren Pupillenfehler zu kompensieren. Die Berechnung wird dabei so durchgeführt, dass die an der Korrekturfläche 35 vorzunehmenden Formänderungen durch einen
20 lokalen Materialabtrag im Bereich der Korrekturfläche vorgenommen werden kann. Es ist auch möglich, die Berechnung so zu gestalten, dass die Formänderung der Oberfläche sowohl lokalen Materialabtrag, als auch lokalen Materialauftrag oder ausschließlich lokalen Materialauftrag beinhalten darf.

25

Zur Bearbeitung der Korrekturfläche wird das Objektiv 10 dann in der Nähe der Pupille 28 aufgetrennt, um die in der Fassung 19 gehaltene Linse 14 mit der Fassung entnehmen zu können. Die Linse wird dann mit Ihrer Fassung in eine in Fig. 1 symbolisch dargestellte Ionenstrahl-
30 lage 50 derart eingebaut, dass die zu bearbeitende Korrekturfläche einer Ionenstrahlquelle 51 zugewandt ist. Mit Hilfe der Ionenstrahlquelle wird eine koordinatenrichtige Bearbeitung der Korrekturoberfläche vorge-

nommen, wobei die Ionenstrahlquelle auf Grundlage der Daten gesteuert wird, die sich aus der mehrkanaligen Vermessung der Wellenfront WF des noch unkorrigierten Systems ergeben haben. In der Regel werden die Formkorrekturen geringfügig sein und Abweichungen von der Ursprungsform von mehr als $1\mu\text{m}$ nicht oder nur in Ausnahmefällen überschreiten. Daher wird im Normalfall als Korrekturfläche eine Korrektur-Nanoasphäre erzeugt. Es sind jedoch auch Korrekturflächen mit größeren Strukturen im Rahmen der Erfindung möglich. Die mit der Oberflächenbearbeitung erzielte Oberflächenform kann interferometrisch oder auf andere Weise überprüft werden.

Die fertig polierte und überprüfte Korrekturfläche 35' wird im nächsten Verfahrensschritt mit einer optisch wirksamen Schicht beschichtet, die im Beispielsfall eine Antireflex-Beschichtung ist. Hierzu wird die Linse 14 mit ihrer Fassung in eine Vakuumkammer 55 einer Beschichtungsanlage so eingebaut, dass die zu beschichtende Korrekturfläche 35' der Materialquelle 56 für das Beschichtungsmaterial zugewandt ist. Die Antireflexbeschichtung 57, die aus mehreren dielektrischen Schichten aus abwechselnd hochbrechendem und niedrig brechendem Material bestehen kann, wird bevorzugt bei niedrigen Temperaturen deutlich unterhalb von 30° aufgebracht, um thermische Belastungen der Fassung 18 und der Klebestellen zwischen Fassung und Linse 13 zu vermeiden.

Nach der Beschichtung der Korrekturfläche wird die Fassung mit der darin gehaltenen Linse wieder an der vorgesehenen Position im Projektionsobjektiv eingebaut. Da die aneinander angrenzenden Fassungen durch formschlüssig ineinander greifende Teile oder auf andere Weise so ausgelegt sind, dass die Fassung 18 in genau der Lage wieder eingebaut werden kann, in der sie bei der abschließenden interferometrischen Vermessung des noch unkorrigierten Objektivs war, befindet sich die beschichtete Korrekturfläche 35' exakt an der pupillennahen Position, in der sich die noch unbearbeitete Fläche 35 vor dem Ausbau aus

dem Objektiv befand. Damit ist eine koordinatenrichtige Korrektur von Wellenfrontfehlern mit Hilfe der Korrekturfläche 35' gewährleistet. Im Beispielsfall ist die Korrekturfläche so gestaltet, dass durch die Korrekturfläche 35' der nach der Justage verbleibende Achsastigmatismus

5 weitgehend oder vollständig kompensiert ist.

Bei einem nicht bildlich dargestellten Ausführungsbeispiel war das pupil-
lennächste, transparente optische Element eine im wesentlichen planpa-
rallele Platte, deren Eintrittsfläche in der Nähe der Pupillenebene des

10 Projektionsobjektivs lag. Diese Platte dient bei dem System als Träger
für weitere optische Elemente eines Alignment-Systems. Nachdem die
Justage des Systems auf die Vermeidung anamorphotischer Verzeich-
nung optimiert war, konnte ein verbleibender Achsastigmatismus (AIDA)
von 30nm (vor der Einführung der Korrekturfläche) auf ca. 3,5nm nach

15 Erzeugung und Einbau der Korrekturfläche reduziert werden.

Im Rahmen der Erfindung ist es auch möglich, die aus dem Ergebnis der
Wellenfrontmessung abgeleitete notwendige Korrektur mit Hilfe von zwei
oder mehr geeignet aufeinander abgestimmten Korrekturflächen zu

20 kompensieren. Als Korrekturfläche kann beispielsweise auch eine in Pu-
pillennähe angeordnete Spiegelfläche genutzt werden. Solche pupillen-
nahen Spiegelflächen können beispielsweise in katadioptrischen Projek-
tionsobjektiven mit Zwischenbild existieren, bei denen der abbildende
Konkavspiegel häufig im Bereich einer Pupillenfläche liegt. Wird z.B. ein

25 dielektrischer verstärkter Spiegel mit reflektierender Metallschicht, z.B.
aus Aluminium, und darüber liegender dielektrischer Schicht verwendet,
so kann z.B. zunächst die Metallschicht unbelegt bleiben. Die Korrektur-
topographie kann dann auf der Metallschicht durch Materialabtragung
und/oder -auftrag erzeugt werden, bevor abschließend die dielektrische

30 Verstärkungsschicht aufgebracht wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines optischen Abbildungssystems, insbesondere eines mikrolithographischen Projektionsobjektivs, welches eine Vielzahl optischer Elemente aufweist, das Verfahren mit folgenden Schritten:

Zusammenbauen des Abbildungssystems mit im wesentlichen lagerichtiger Anordnung der optischen Elemente;

Vermessen des Abbildungssystems mit ortsauflösender Bestimmung der Wellenfront in der Austrittspupille oder einer dazu konjugierten Fläche des Abbildungssystems zur ortsauflösenden Bestimmung von Wellenfrontfehlern;

Auswählen mindestens einer aus Korrekturfläche vorgesehenen Fläche an mindestens einem der optischen Elemente, wobei die Korrekturfläche so gewählt wird, dass sie im Bereich der Austrittspupille oder einer dazu konjugierten Fläche des Abbildungssystems angeordnet ist;

Berechnen der Topographie und/oder einer Brechzahlverteilung mindestens einer als Korrekturfläche vorgesehenen Fläche eines optischen Elementes zur Korrektur der Wellenfrontfehler;

Ausbauen des mindestens einen, mit einer Korrekturfläche versehenen optischen Elements aus dem Abbildungssystem;

Ortsauflösende Bearbeitung der mindestens einen Korrekturfläche zur Erzeugung der berechneten Topographie und/oder Brechzahlverteilung der Korrekturfläche;

Lagerichtiges Einbauen des die bearbeitete Korrekturfläche aufweisenden optischen Elementes in das Abbildungssystem.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Vermessung des Abbildungssystems eine interferometrische Vermessung ist, die eine unmittelbare Bestimmung von Lichtwegabweichungen über die

Austrittspupille oder eine dazu konjugierte Fläche des Abbildungssystems erlaubt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Vermessung der Wellenfrontfehler für viele Feldpunkte nacheinander oder gleichzeitig durchgeführt wird, insbesondere für zwischen ca. zehn und ca. hundert Feldpunkte.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zur Vermessung ein Shearing-Interferometer mit einer zweidimensionalen Wellenfrontquelle verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine koordinatenrichtige Mittelung der bei der Vermessung ermittelten Wellenfrontfehler zur Bestimmung eines mittleren Wellenfrontfehlers und durch eine Berechnung der Topographie der Korrekturfläche derart, dass der mittlere Wellenfrontfehler mindestens teilweise kompensierbar ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem ein gewichteter Mittelwert von Wellenfrontfehlern errechnet und die Berechnung der Topographie der Korrekturfläche derart durchgeführt wird, dass durch die Korrekturfläche der gewichtete mittlere Wellenfrontfehler kompensierbar ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem ein Maximalwert des Wellenfrontfehlers und ein dazugehörigen Ort der Austrittspupille oder einer dazu konjugierten Fläche ermittelt und die Berechnung der Topographie der Korrekturfläche derart durchgeführt wird, dass der maximalwert auf einen vorgegebenen Grenzwert oder darunter reduziert wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem beim Zusammenbau des optischen Abbildungssystems zumindest die mindestens eine, als Korrekturfläche vorgesehene Fläche unbeschichtet bleibt und das optische Abbildungssystem mit der mindestens einen unbeschichteten Fläche vermessen wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Wirkung einer für die Korrekturfläche vorgesehenen Beschichtung bei der Berechnung des Wellenfrontfehlers und der anschließenden Berechnung der Topographie der Korrekturfläche berücksichtigt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit folgenden Schritten:
Montage des die Korrekturfläche aufweisenden optischen Elementes in einer gesonderten Fassung;
Ausbau des optischen Elementes mit der Fassung;
Weiterbearbeitung der Korrekturfläche des in der Fassung gehaltenen optischen Elementes;
Einbau des in der Fassung gehaltenen optischen Elementes in das Abbildungssystem.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Weiterbearbeitung der Korrekturfläche eine koordinatenrichtige Formgebung und/oder eine lokale Brechzahlveränderung der Korrekturfläche auf Grundlage von Daten der Wellenfrontvermessung beinhaltet, wobei vorzugsweise die Formgebung mittels Ionenstrahlätzen und/oder die lokale Brechzahlveränderung durch Dotieren mit Fremdatomen durchgeführt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei dem die Weiterbearbeitung der Korrekturfläche eine Beschichtung der fertig bearbeiteten

Korrekturfläche mit einer optisch wirksamen Schicht, insbesondere einer Antireflexschicht, beinhaltet, wobei die Beschichtung vorzugsweise bei maximalen Temperaturen des optischen Elementes von weniger als ca. 30°C durchgeführt wird.

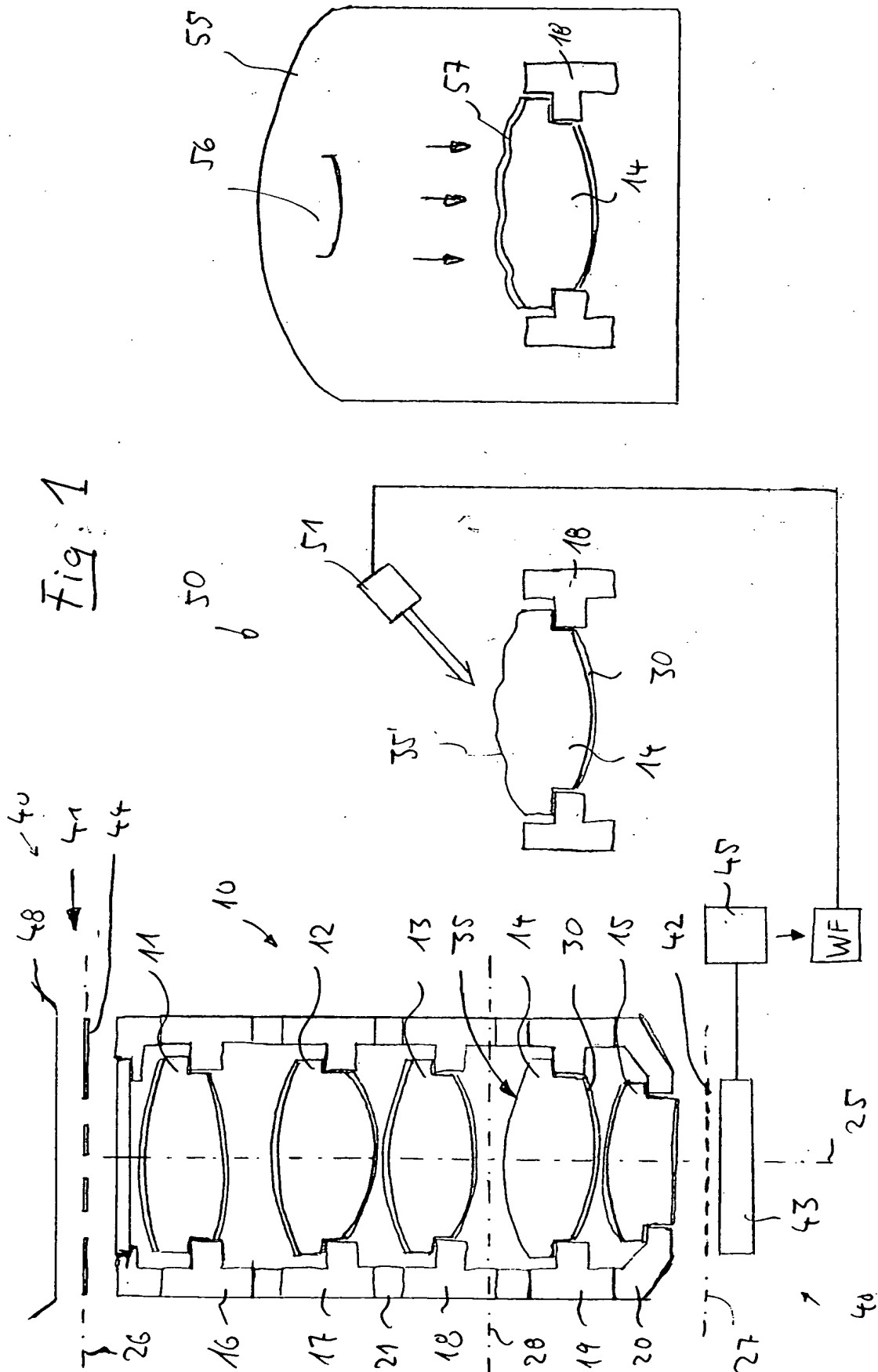
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die ortsauflösende Bearbeitung eine Materialabscheidung auf eine unbeschichtete Fläche zur Erzeugung der Topographie der Korrekturfläche umfasst.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die ortsauflösende Bearbeitung eine ortsauflösende Dotierung des mit der Korrekturfläche versehenen optischen Elementes zur Erzeugung von lokalen Brechzahlvariationen umfasst.
15. Optisches Abbildungssystem, insbesondere Projektionsobjektiv für die Mikrolithographie, mit einer Vielzahl von optischen Elementen (11, 12, 13, 14, 15) und mindestens einer Pupillenfläche (28) zwischen Objektebene (26) und Bildebene (27), wobei an mindestens einer in der Nähe der Pupillenfläche (28) angeordneten Fläche (35) eines pupillennahen optischen Elements (14) eine Korrekturfläche vorgesehen ist, deren Oberflächenform und/oder Brechzahlverteilung signifikant von der Oberflächenform und/oder Brechzahlverteilung der entsprechenden Fläche im zugrundeliegenden optischen Design des optischen Abbildungssystems abweicht.
16. Abbildungssystem nach Anspruch 15, bei dem die Korrekturfläche (35') eine asphärische Korrekturfläche ist, vorzugsweise in Form einer Nanometer-Asphäre.

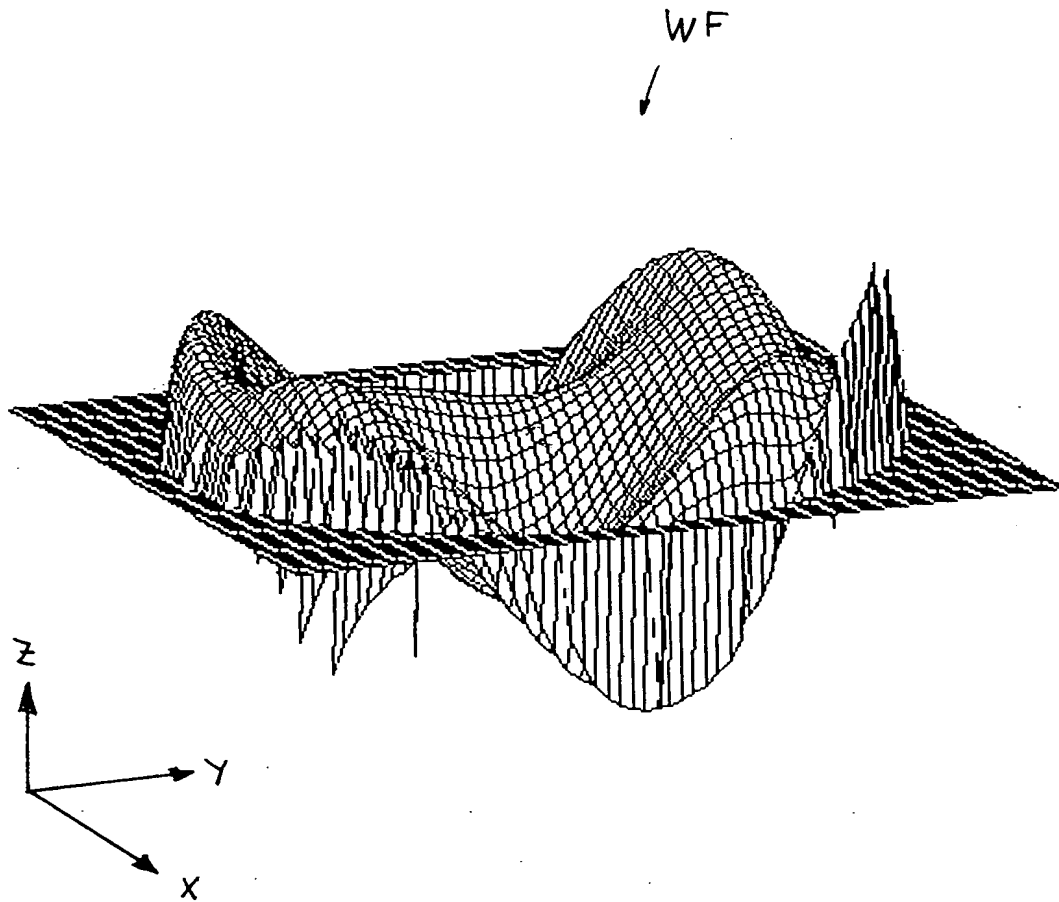
17. Abbildungssystem nach Anspruch 15 oder 16, bei dem die Korrekturfläche (35') eine optische Beschichtung (57) trägt, insbesondere eine Antireflexbeschichtung.

Zusammenfassung

Bei einem Verfahren zur Herstellung eines optischen Abbildungssystems, beispielsweise eines Projektionsobjektivs für die Mikrolithographie, welches eine Vielzahl optischer Elemente aufweist, wird das Abbildungssystem zunächst zusammengebaut und justiert. Dabei bleibt zumindest eine in der Nähe einer Pupillenfläche des Abbildungssystems liegende optische Fläche unbeschichtet. Bei einer anschließenden Vermessung des Abbildungssystems, beispielsweise mittels Shearing-Interferometrie, werden die Wellenfrontfehler in der Austrittspupille oder einer dazu konjugierten Fläche des Abbildungssystems ortsauflösend bestimmt. Das optische Element, welches die Korrekturfläche aufweist, ist in einer gesonderten Fassung gehalten und wird nach der Vermessung gemeinsam mit der Fassung ausgebaut. Auf Grundlage der Vermessung wird eine Topographie und/oder Brechzahlverteilung der Korrekturfläche errechnet, die erforderlich ist, um die bei der Messung ermittelten Wellenfrontfehler zu kompensieren. Diese Topographie wird am ausgebauten optischem Element z.B. die lokale Brechzahlvariation durch Dotieren mit Fremdatomen mittels Ionenstrahlätzen durch koordinatenrichtigen Materialabtrag erzeugt. Nach einer anschließenden Beschichtung der Korrekturfläche in der Fassung wird das bearbeitete optische Element in seiner Einbauposition des Abbildungssystems wieder eingebaut. Das Verfahren ermöglicht die Herstellung komplex aufgebauter optischer Abbildungssysteme mit hervorragendem Korrektionszustand bei verringertem Justageaufwand.

Fig. 1



Fig. 2